

Ilona Nowak^{1,2}, Bożena Seczyńska², Aurelia Segal², Aleksandra Władimiruk², Wojciech Szczeklik^{2,3,4}

¹Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

²Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Szpital Uniwersytecki w Krakowie

³II Katedra Chorób Wewnętrznych, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

⁴Zakład Intensywnej Terapii i Medycyny Okołożabiegowej, II Katedra Chorób Wewnętrznych im. prof. Andrzeja Szczeklika, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Aspekty techniczne prowadzenia ciągłej terapii nerkozastępczej na oddziale intensywnej terapii

Practical considerations for the renal replacement therapy
in the intensive care unit

STRESZCZENIE

Znajomość aspektów technicznych oraz zrozumienie funkcji i właściwości obiegu pozaustrojowego warunkują bezpieczne i skuteczne prowadzenie ciągłych terapii nerkozastępczych w oddziałach intensywnej terapii przez pielęgniarki.

Celem pracy jest przedstawienie praktycznych aspektów leczenia nerkozastępczego u krytycznie chorych. Dane zebrano na podstawie analizy aktualnego piśmiennictwa polskiego i zagranicznego przy wykorzystaniu bazy PubMed/MEDLINE.

Problemy Pielęgniarstwa 2016; 24 (2): 148–152

Słowa kluczowe: dializa pozaustrojowa; oddział intensywnej terapii; pielęgniarki

ABSTRACT

Familiarity of the technical aspects and understanding of the function and properties extracorporeal circuit determines the safe and effective managing of continuous renal replacement therapy in the intensive care units by nurses.

The aim of the study is to present practical aspects of renal replacement therapy in critically ill patients. Data were collected based on the current analysis of the Polish and foreign literature, based on PubMed/MEDLINE.

Problemy Pielęgniarstwa 2016; 24 (2): 148–152

Key words: extracorporeal dialysis; intensive care unit; nurses

Wstęp

Ciągłe terapie nerkozastępcze (CRRT, *continuous renal replacement therapy*) są stosowane w leczeniu pacjentów z niewydolnością nerek, z towarzyszącymi ostrymi zaburzeniami metabolicznymi i wodno-elektrolitowymi, szczególnie u pacjentów niestabilnych hemodynamicznie. Obecnie stanowią podstawową formę terapii nerkozastępczej na oddziałach intensywnej terapii.

Decyzja o wdrożeniu CRRT jest podejmowana na podstawie wskazań klinicznych, do których należą przede wszystkim: zagrażająca życiu kwasica, ciężka mocznica i powikłania mocznicowe, hiperwolemy z obrzękiem płuc, zaburzenia elektrolitowe, takie jak hiperkaliemia, hiponatremia, hipernatremia, zatrucia (radiologiczne środki cieniujące, toksyny, leki nefrotoksyczne), sepsa oraz rhabdomyoliza [1, 2].

Adres do korespondencji: mgr Ilona Nowak, Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie; Oddział Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Szpital Uniwersytecki w Krakowie, e-mail: ilonnowak@gmail.com

DOI: 10.5603/PP.2016.0024

Praca powstała dzięki finansowaniu z Narodowego Centrum Nauki (NCN) — Indywidualny projekt badawczy Preludium nr 2014/15/N/NZ5/03646 oraz funduszy statutowych finansowanych ze środków MNiSW w ramach dotacji celowej dla młodych naukowców Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum nr K/DSC/002877)

Podstawowa terminologia

Ciśnienie przezłonowe (TMP, *trans-membrane pressure*) — różnica ciśnień po obu stronach błony filtra.

Efluent — płyn powstający w wyniku CRRT.

Hemodiafiltracja — usuwanie substancji rozpuszczonych przez błonę filtra w wyniku gradientu stężeń i ciśnienia przezłonowego.

Hemodializa — usuwanie wody i produktów przemiany materii przez półprzepuszczalną błonę wskutek gradientu stężeń.

Hemofiltracja — usuwanie wody i produktów przemiany materii przez błonę filtra za pomocą ciśnienia przezłonowego.

Płyn dializacyjny — płyn podawany w celu wytworzenia gradientu stężeń przez błonę w hemodializie; skład taki sam jak w wypadku płynu substytucyjnego.

Płyn substytucyjny — płyn uzupełniający w hemofiltracji lub hemodiafiltracji; zawiera elektrolity i bufony.

Postdylucja — podawanie płynu substytucyjnego do obiegu pozaustrojowego za filtrem.

Predylucja — podawanie płynu substytucyjnego do obiegu pozaustrojowego przed filtrem; powoduje rozcieńczenie substancji rozpuszczonych wpływających do filtra, zmniejszając efektywność dializy i jednocześnie przedłużając żywotność filtra (zmniejsza wykrzepianie).

Aspekty techniczne

Terapie CRRT można prowadzić przy pomocy wielu metod, różniących się pod kątem sposobów usuwania substancji rozpuszczonych, intensywności terapii czy stosowanej antykoagulacji. Wybór metody determinują wskazania kliniczne, stan chorego, dysfunkcja narządów i obecność zaburzeń hemodynamicznych, a także wskazania i przeciwwskazania do antykoagulacji. Nie bez znaczenia są też możliwości i doświadczenie ośrodka, dostępność aparatury oraz odpowiednie kwalifikacje pielęgniarek i lekarzy [2, 3].

Proces pozaustrojowego oczyszczania krwi polega na ciągłym pobieraniu krwi z kanału cewnika centralnego za pomocą pompy perystaltycznej do filtra, w którym szkodliwe substancje przemiany materii zostają usunięte wraz z wodą w postaci ultrafiltratu za pomocą półprzepuszczalnej membrany. Oczyszczona krew oddawana jest z powrotem do pacjenta za pośrednictwem drugiego kanału cewnika. To dynamiczny proces, w którym dzięki zastosowaniu płynu dializacyjnego zmienia się zawartość substancji rozpuszczonych w osoczu. Przedział osocza i płynu dializacyjnego jest rozdzielony błoną półprzepuszczalną, przez którą mogą przenikać związki chemiczne o małych cząsteczkach; jest ona równocześnie nieprzepuszczalna dla komórek oraz białek krwi. Różnica stężeń związków chemicznych po obu stronach

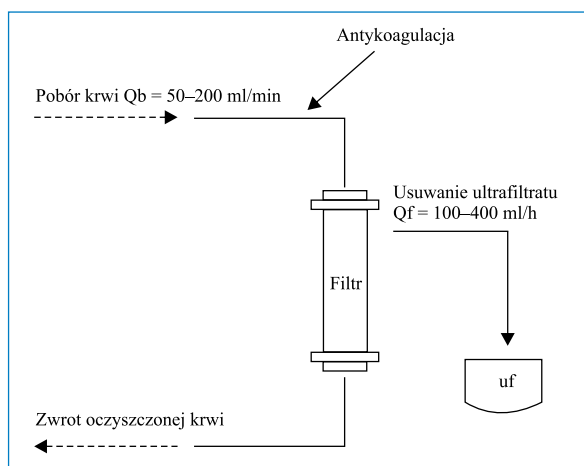
błony powoduje powstanie ciśnienia osmotycznego. W zależności od rodzaju zabiegu wykorzystywane są różne metody transportu przezłonowego: dyfuzja, czyli pasywny transport substancji rozpuszczonych na podstawie różnicy stężeń po obu stronach błony półprzepuszczalnej (cząsteczki przemieszczają się z przestrzeni o wyższym stężeniu do przestrzeni o stężeniu niższym), lub ultrafiltracja — inaczej konwekcja (substancje przenikają przez membranę jednocześnie z rozpuszczalnikiem poprzez gradient ciśnień) [2].

Do podstawowych rodzajów CRRT prowadzonych na oddziałach intensywnej terapii należą:

- ciągła powolna ultrafiltracja (SCUF, *Slow Continuous UltraFiltration*) — polega na usuwaniu nadmiaru płynów w sposób powolny, bez konieczności stosowania płynu uzupełniającego, z zastosowaniem antykoagulacji (ryc. 1);
- ciągła żylna-żylna hemofiltracja (CVVH, *Continuous Veno-Venous Hemofiltration*) — za jej pomocą można usunąć nadmiar wody i szkodliwych produktów przemiany materii na zasadzie transportu konwekcyjnego; duża objętość ultrafiltratu wymusza konieczność zastosowania płynu substytucyjnego, który może być podawany w predylucji lub postdylucji; zabieg prowadzony jest z antykoagulacją, zalecany w zaburzeniach elektrolitowych i kwasicy (ryc. 2);
- ciągła żylna-żylna hemodializa (CVVHD, *Continuous Veno-Venous HemoDialysis*) — polega na eliminacji wody i produktów przemiany materii w sposób powolny, na zasadzie dyfuzji cząsteczek przez błonę; stosowana u pacjentów niestabilnych hemodynamicznie, z użyciem płynu dializacyjnego i antykoagulacji (ryc. 3);
- ciągła żylna-żylna hemodiafiltracja (CVVHDF, *Continuous Veno-Venous HemoDiaFiltration*) — najbardziej efektywna i elastyczna metoda opierająca się na dyfuzji i konwekcji, z użyciem płynu zarówno dializacyjnego, jak i substytucyjnego; wskazaniami do zastosowania są ostre uszkodzenie nerek (AKI, *Acute Kidney Injury*) w przebiegu zespołu niewydolności wielonarządowej (MODS, *Multiple Organ Dysfunction Syndrome*), jak również sepsa czy zatrucia egzogenne (ryc. 4) [4, 5].

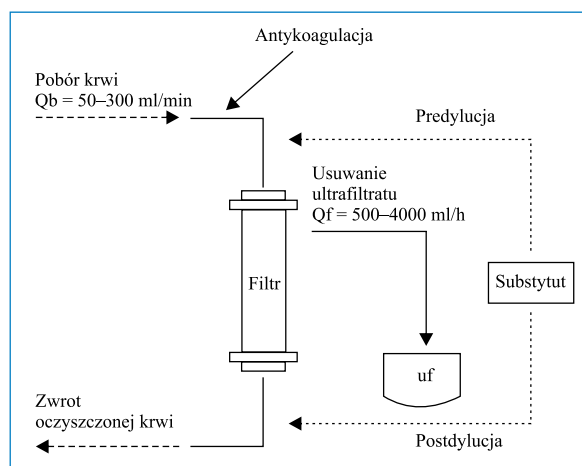
Dostęp naczyniowy

Na oddziale intensywnej terapii dostępem naczyniowym do prowadzenia CRRT jest tymczasowy cewnik dwukanałowy zakładany metodą Seldingera. Jego budowa zapewnia ciągły, niezależny przepływ krwi. Stosowane kaniule są wykonane z biologicznie obojętnych materiałów, takich jak poliuretan, poliwinyl czy silikon. Są łatwe do wprowadzenia, wytrzymałe mechanicznie, plastyczne w kontakcie z naczyniem; w zależności od przekroju poprzecznego mogą zapew-



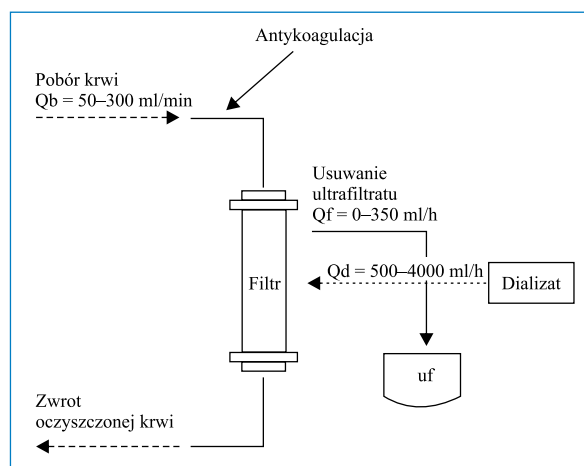
Rycina 1. Schemat obiegu pozaustrojowego ciągłej powolnej ultrafiltracji; Q_b — przepływ krwi; Q_f — przepływ ultrafiltratu; uf — ultrafiltrat

Figure 1. Schematic diagram of slow continuous ultrafiltration circuit



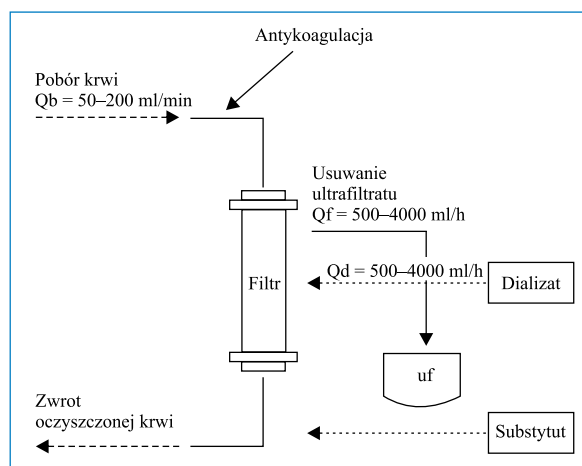
Rycina 2. Schemat obiegu pozaustrojowego ciągłej żylna-żylna hemofiltracji; Q_b — przepływ krwi; Q_f — przepływ ultrafiltratu; uf — ultrafiltrat

Figure 2. Schematic diagram of continuous veno-venous hemofiltration circuit



Rycina 3. Schemat obiegu pozaustrojowego ciągłej żylna-żylna hemodializy; Q_b — przepływ krwi; Q_f — przepływ ultrafiltratu; Q_d — szybkość przepływu płynu dializacyjnego; uf — ultrafiltrat

Figure 3. Schematic diagram of continuous veno-venous hemodialysis circuit



Rycina 4. Schemat obiegu pozaustrojowego ciągłej żylna-żylna hemodiafiltracji; Q_b — przepływ krwi; Q_f — przepływ ultrafiltratu; Q_d — szybkość przepływu płynu dializacyjnego; uf — ultrafiltrat

Figure 4. Schematic diagram of continuous veno-venous hemodiafiltration circuit diagram

niać przepływ krwi do ponad 200 ml/min. Miejscem założenia cewnika powinna być z wyboru prawa żyła szyjna wewnętrzna [6]. Obecnie nie zaleca się nakłuwania żył podobojczykowych i udowych; nakłuciu żył podobojczykowych mogą bowiem towarzyszyć liczne powikłania, ponadto możliwe jest wystąpienie zwężeń w trakcie użytkowania. Z kolei cewnik umiejscowiony w żyłę udową niesie wysokie ryzyko infekcji, zwiększa konieczność unieruchomienia chorego i może powodować znaczną recyrkulację krwi, jeżeli jego długość wynosi mniej niż 18 cm [7, 8].

Wydajność dostępu naczyniowego stanowi gwarancję prawidłowego przebiegu CRRT. Rola zespołu pielęgniarskiego polega na właściwej pielęgnacji miejsca wkłucia i odpowiednim zabezpieczeniu cewnika w celu zapobieżenia przypadkowemu wysunięciu. Istotne jest dokładne sprawdzenie prawidłowego funkcjonowania (drożności) dostępu naczyniowego tuż przed rozpoczęciem CRRT. W trakcie zabiegu należy monitorować jego położenie, szczególnie podczas wykonywania czynności pielęgnacyjnych i diagnostycznych. Systematyczna obserwacja i dokumentacja trendów ciśnień w układzie

pozaustrojowym w skuteczny sposób pozwoli na wykrycie zaburzeń związanych z wkłuciem centralnym (CVC, *central venous catheter*) czy też z innymi elementami układu. Trwałość dostępu naczyniowego zależy od przepływu krwi — utrzymywanie pompy krwi powyżej 100 ml/min zapobiega tworzeniu się skrzepin w układzie. W przypadku przerwy bądź zakończenia zabiegu konieczne jest przepłukanie obu kanałów 0,9-procentowym roztworem NaCl, a następnie wypełnienie antykoagulantem. Przygotowanie układu pozaustrojowego przed podłączeniem do pacjenta polega na wypełnieniu układu roztworem soli fizjologicznej (w zależności od wskazań — roztworem z heparyną) z zachowaniem zasad aseptyki i pozbyciu się nagromadzonego powietrza, sprawdzeniu szczelności połączeń oraz poprawności funkcjonowania aparatu [5].

Filtry

Filtry używane w CRRT zbudowane są ze specjalnych biokompatybilnych półprzepuszczalnych błon typu *high-flux* (błona wysokoprzepływowa), syntetycznych lub celulozowych. Najczęściej stosowane są filtry syntetyczne o powierzchni około 0,6–1,2 m², a wymiary porów pozwalają na usuwanie toksyn o masie cząsteczkowej do 50 000 daltonów [3].

W przypadku technik wysokoobjętościowych objętość ultrafiltratu uzyskiwanego w trakcie CRRT może wynosić nawet 100 l/dobę. Konieczna jest wtedy równoczesna suplementacja płynów substytucyjnych (reinfuzyjnych). Płyny mogą być podawane po przejściu krwi przez filtr (postdylucja) lub przed filtrem (predylucja). Programując zabieg, należy ustalić szybkość ultrafiltracji, tak aby nie przekraczała ona 25% przepływu krwi (Q_b , *blood flow rate*); według zaleceń powinna wynosić około 35–45 ml/kg mc./h [2].

Szeroki wybór płynów substytucyjnych i dializacyjnych pozwala na indywidualne dostosowanie ich do wskazań klinicznych. Obecnie zarówno w płynie dializacyjnym, jak i w płynie substytucyjnym stosuje się bufora wodorowęglanowe. Nie zaleca się używania buforu mleczanowego — ze względu na możliwość wystąpienia kwasicy mleczanowej (głównie u chorych z niewydolnością wątroby). Skład płynów stosowanych w CRRT nie różni się istotnie stężeniem podstawowych jonów od ich stężenia w osoczu człowieka zdrowego, z wyjątkiem stężenia potasu, które może wahać się od 0 do 4 mEq/l. Powszechnie używane są płyny, które zawierają: Na⁺ — 135–145; Ca⁺⁺ — 1,9–2,1; Mg⁺⁺ — 0,75; Cl⁻ — 100–110 mmol/l; HCO₃⁻ — 30–34 mmol/l [9, 10]. Infuzyjny płyn uzupełniający musi być jałowy i apirogenny, przygotowywany zazwyczaj w odpowiednich workach dwukomorowych, gdzie jony wodorowęglanowe są oddzielone od płynu elektrolitowego w celu zabezpieczenia przed wytrącaniem się jonów wapnia i magnezu [11].

Antykoagulacja

Każdy zabieg prowadzony w krążeniu pozaustrojowym wymaga stosowania antykoagulacji, której celem jest utrzymanie drożności i funkcji układu. Kontakt krwi z obwodem pozaustrojowym aktywuje kaskadę krzepnięcia, w krótkim czasie może spowodować jej wykrzepianie w drenach i cewniku naczyniowym. Wybór antykoagulacji jest uwarunkowany stanem klinicznym pacjenta, wskazaniami i przeciwwskazaniami do podjęcia terapii, oceną potencjalnego ryzyka i korzyści. Obecnie najczęściej używane metody antykoagulacji farmakologicznej to:

- heparyna, którą można stosować jako ciągły wlew heparyny niefrakcjonowanej podawany przed filtrem z pompy infuzyjnej zintegrowanej z układem CRRT lub dożylnie;
- regionalna antykoagulacja z zastosowaniem cytrynianu sodu.

Stosowanie heparyny musi odbywać się pod kontrolą aktywowanego czasu krzepnięcia (ACT, *activated clotting time*) lub aktywowanego czasu częściowej tromboplastyny (APTT, *activated partial thromboplastin time*). W monitorowaniu antykoagulacji heparynowej zdecydowanie częściej używa się APTT, który powinien mieścić się w przedziale 60–100 s ($1,5\text{--}2 \times$ górna granica normy). Zahamowanie kaskady krzepnięcia przy pomocy regionalnej antykoagulacji cytrynianem sodu jest bardzo skuteczne, zwłaszcza gdy istnieje zwiększone ryzyko krwawienia. Cytrynian hamuje krzepnięcie przez wiązanie wapnia, który jest niezbędnym kofaktorem w kaskadzie krzepnięcia, a jego deficyt hamuje syntezę trombiny [10]. Cytrynian podaje się bezpośrednio do układu, tuż za kaniulą. Następnie, zanim krew zostanie zwrócona pacjentowi, proces ten jest odwracany przez uzupełnienie jonów wapnia (chlorek wapnia) — to tak zwana rekalkyfikacja. Ten sposób antykoagulacji jest sterowany i monitorowany za pomocą oznaczenia stężenia wapnia zjonizowanego (równocześnie w krwi systemowej pacjenta i obwodzie pozaustrojowym — za filtrem). Podczas stosowania cytrynianów należy zwrócić uwagę na zaburzenia kwasowo-zasadowe i dyselektrolitemie, przede wszystkim na zasadowicę, hipernatremię i hipokalcemię. Szczególną ostrożność należy zachować u chorych z niewydolnością wątroby — ze względu na możliwość kumulacji cytrynianów i ich toksycznego działania w wysokich stężeniach [12].

Możliwe jest prowadzenie CRRT bez antykoagulacji farmakologicznej, które wymaga zachowania odpowiednich aspektów technicznych zabiegu: optymalizacji dostępu naczyniowego (odpowiedni rozmiar, właściwa kaniulacja), podawania płynów substytucyjnych w predylucji, zwiększenia przepływu krwi do 200–250 ml/min [2].

Tabela 1. Potencjalne powikłania wynikające z prowadzenia CRRT**Table 1.** Potential complications during CRRT

Powikłania pośrednie	Powikłania bezpośrednie	
	Kliniczne	Techniczne
Powikłania kaniulacji żył centralnych (krwawienia i krwinki, przypadkowe nakłucia innych narządów, np. spowodowanie odmy opłucnowej) Zakażenia dostępu naczyniowego (zakażenia odcewnikowe) Z akrepica żylna związana z obecnością cewnika do hemodializ	Zaburzenia wodno-elektrolitowe, najczęściej łagodne: hipokalcemia, hipokaliemia, hipernatremia, hipomagnezemia, hipofosfatemia Zaburzenia równowagi kwasowo-zasadowej: kwasica i zasadowica metaboliczna Hipotonia Zmniejszenie liczby płytek krwi i hemoliza w odpowiedzi na kontakt z powierzchniami obiegu krążenia pozaustrojowego (rzadko) Zmniejszenie temperatury ciała (rzadko poniżej 35°C — hipotermia) Zespół ogólnoustrojowej reakcji zapalnej z aktywacją krzepnięcia w odpowiedzi na kontakt z powierzchniami obiegu krążenia pozaustrojowego (rzadko) Krwawienia (rzadko przy stosowaniu regionalnej antykoagulacji cytrynianowej)	Wykrzepienie w obwodzie pozaustrojowym Rozszczelnienie kapilar hemofiltera Zapowietrzenie obiegu pozaustrojowego Mechaniczne uszkodzenie obwodu pozaustrojowego lub hemofiltera

Powikłania

Techniki nerkozastępcze obciążone są niewielkim odsetkiem powikłań. Kluczowym elementem w zapobieganiu wystąpienia zdarzeń niepożądanych jest doświadczenie całego zespołu oraz postępowanie zgodnie z przyjętymi protokołami. Potencjalne powikłania wynikające z prowadzenia CRRT u krytycznie chorych przedstawiono w tabeli 1 [5, 13, 14].

Podsumowanie

Wiedza teoretyczna i umiejętności praktyczne, jakimi posługują się zespoły pielęgniarskie i lekarskie, umożliwiają zapewnienie jakości opieki i osiągnięcie zamierzonych efektów terapeutycznych. Znajomość wskazań i przeciwwskazań, wybór odpowiedniej metody CRRT, właściwe przygotowanie pacjenta i aparatury oraz adekwatny nadzór zabiegu determinują skuteczność leczenia nerkozastępczego.

Podziękowanie

Składamy serdeczne podziękowania Pani Profesor Małgorzacie Schlegel-Zawadzkiej za cenne wskazówki i życzliwą pomoc w trakcie przygotowywania pracy.

Piśmiennictwo

- Hoste E.A., Dhondt A. Clinical review: use of renal replacement therapies in special groups of ICU patients. *Crit. Care* 2012; 16: 201.
- Galvagno S.M. Jr, Hong C.M., Lissauer M.E. i wsp. Practical considerations for the dosing and adjustment of continuous renal replacement therapy in the intensive care unit. *J. Crit. Care* 2013; 28: 1019–1026.
- Cerdá J., Ronco C. The clinical application of CRRT — current status: modalities of continuous renal replacement therapy: technical and clinical considerations. *Semin. Dial.* 2009; 22(2): 114–122.
- Huang Z., Letteri J.J., Clark W.R., Ronco C., Gao D. Operational characteristics of continuous renal replacement modalities used for critically ill patients with acute kidney injury. *Int. J. Artif. Organs.* 2008; 31: 525–534.
- Dirkes S., Hodge K. Continuous renal replacement therapy in the adult intensive care unit: history and current trends. *Crit. Care Nurse* 2007; 27: 61–80.
- Tolwani A. Continuous renal-replacement therapy for acute kidney injury. *N. Engl. J. Med.* 2012; 367: 2505–2514.
- Mrozek N., Lautrette A., Timsit J.F., Souweine B. How to deal with dialysis catheters in the ICU setting. *Ann. Intensive Care* 2012; 2: 48.
- Parietti J., Thirion M., Mégarbane B. i wsp. Femoral vs jugular venous catheterization and risk of nosocomial events in adults requiring acute renal replacement therapy: a randomized controlled trial. *JAMA* 2008; 299: 2413–2422.
- Aucella F., Di Paolo S., Gesualdo L. Dialysate and replacement fluid composition for CRRT. *Contrib. Nephrol.* 2007; 156: 287–296.
- Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Acute Kidney Injury Work Group. KDIGO clinical practice guideline for acute kidney injury *Kidney Int.* 2012; 2: 1–138.
- Kanagasundaram N.S., Perry J.D., Hoenich N.A. i wsp. Fluids for continuous renal replacement therapy — an evaluation of microbial integrity. *Int. J. Artif. Organs.* 2015; 38: 13–16.
- Kutsogiannis D.J., Gibney N., Stollery D., Gao J. Regional citrate versus systemic heparin anticoagulation for continuous renal replacement in critically ill patients. *Kidney Int.* 2005; 67: 2361–2367.
- Finkel K.W., Podoll A.S. Complications of continuous renal replacement therapy. *Semin. Dial.* 2009; 22: 155–159.
- Fall P., Szerlip H.M. Continuous renal replacement therapy: cause and treatment of electrolyte complications. *Semin. Dial.* 2010; 23: 581–585.